# 不同相对湿度对连续日增温下肉仔鸡生理指标的影响[1]

李　萌[1,2]　厉秀梅[2]　周　莹[2]　冯京海[2]　赵　骞[1*]　张敏红[2*]

（1.东北农业大学动物科学技术学院，哈尔滨 150030；2.中国农业科学院北京畜牧兽医研究所，动物营养学国家重点实验室，北京 100193）

摘　要：本试验研究了不同相对湿度（RH）对日增温环境中肉仔鸡生理指标的影响。试验选取 22 日龄爱拔益加（AA）肉仔公鸡 180 只转入人工气候试验舱，随机分成 3 个组，每组 6 个重复，每个重复 10 只鸡。适应期 7 d，温度 20 ℃，RH 为 60%。肉鸡 29 日龄时，试验 RH 分别调整到 35%、60%和 85%，至试验结束。环控舱内温度每天升高 2 ℃，试验期共 9 d。肉鸡 37 日龄时，环控舱舱内温度升高至 38 ℃，试验期间肉鸡自由采食饮水，试验全程不抓鸡，选择非接触性生理指标进行测定，以尽量避免肉鸡产生应激。结果表明：肉鸡体核温度（CT）、耳叶温度（ET）、小腿温度（LT）、呼吸频率（RR）、采食量（FI）和饮水量(DW)均存在拐点温度（IPt）。首先变化的是 LT，其产生变化的环境温度范围是 24.6~25.1 ℃，之后是 ET 和 CT，发生变化的环境温度范围分别是 25.0~25.1 ℃和 25.5~26.4 ℃。RR 存在 2 个 IPt（$IPt_1$ 和 $IPt_2$），温度范围分别是 25.5~27.2 ℃和 32.5~33.3 ℃。环境温度大于 $IPt_1$ 值时，RR 随温度升高而升高；环境温度大于 $IPt_2$ 值，RR 随温度升高而下降。FI、DW 发生变化的环境温度范围分别为 27.1~29.3 ℃和 29.2~29.5 ℃，环境温度大于 IPt 值后，FI 和 DW 随温度升高而降低。高湿组 FI 的 IPt 值显著高于低湿组和中湿组（$P<0.05$），高湿组死亡率（MR）的 $IPt_2$ 值显著小于低湿组和中湿组（$P<0.05$），高湿组 CT、ET、LT、RR、FI 和 DW 的 IPt 值小于中湿组和低湿组，RH 对 ET、LT、RR 和 DW 模型参数均无显著影响（$P>0.05$）。结果提示：环境温度对肉鸡生理指标影响较大，RH 影响较小。FI 下降和 CT 升高的 IPt 值可被认为是上限临界温度，4~5 周龄肉鸡公鸡 CT 上限临界温度为 25.5~26.4 ℃；RR 开始升高和 FI 开始下降的上限临界温度分别为 25.5~27.2 ℃和 27.1~29.2 ℃；死亡的上限临界温度在为 32.7~33.5 ℃。肉仔鸡死亡时 CT 高出常数值 4.6~5.1 ℃。4~5 周龄肉仔公鸡不同生理指标有着不同的上限临界温度。

关键词：肉仔鸡；湿度；日增温；拐点温度

---

收稿日期：2017–03–10

基金项目：国家"十三五"重点研发计划课题“肉禽舒适环境的适宜参数及限值研究”（2016YFD0500509）；动物营养国家重点实验室自主研究课题"热环境影响肉鸡健康生长的分子机制"（2004DA125184G1609）

作者简介：李　萌（1991–），女，黑龙江安达人，硕士研究生，研究方向为家禽营养与环境。E-mail：1508039384@qq.com

*通信作者：赵　骞，副教授，硕士生导师，E-mail：189876@qq.com；张敏红，研究员，博士生导师，E-mail：zmh66@126.com

中图分类号：S831.4

现代速生白羽肉仔鸡生长速度快、饲料转化率高，料重比低，胸肌和腿肌约占全部肌肉的 90%以上。胸肌快速增长使得肉鸡机体产热增加，但其散热系统却不发达，导致肉仔鸡易受外界环境的刺激，应激耐受力下降[1-2]。环境温度升高，肉仔鸡体核温度（core temperature，CT）、小腿温度（leg temperature，LT）、耳叶温度（earlobe temperature，ET）和呼吸频率（respiratory rate，RR）升高，采食量（feed intake，FI）下降[3-5]。林海[6]研究表明环境温度小于 25 ℃时相对湿度（relative humidity，RH）对肉仔鸡体表温度（shell temperature，ST）无影响。Yahav 等[7]报道 28 ℃时 RH 对肉仔鸡 CT 和 ST 无显著影响。而 Lin 等[8]报道环境 RH 为 35 ℃时高湿组肉仔鸡直肠温度、背部和腹部温度显著高于中湿组，高温环境下高水平 RH 抑制家禽蒸发散热[9-10]，如果 RH 超过了肉仔鸡可以维持产热散热的平衡点，呼吸蒸发散热也不足以充分维持 CT 平衡，此时肉仔鸡处在热中性区，导致 CT 升高。温度对肉仔鸡的影响的试验环境温度设置多为恒定不变的。但在实际生产中，环境温度不会恒定不变，且每逢春夏之交，会遇到日增温的情况，而 RH 对日增性环境下肉仔鸡生理指标的影响未见报道。因此本试验将研究不同 RH 对日增温下肉仔鸡非接触性生理指标的影响及变化规律，以期得到各指标不同 RH 下的上限临界温度，旨在为肉仔鸡饲养温湿度范围的分级提供依据。

# 1 材料与方法

## 1.1 试验动物与试验设计

试验选取一批出雏、饲养管理一致、体重相近、体质健壮的 22 日龄爱拔益加（AA）肉公鸡 180 只，随机分成 3 个组，每组 6 个重复，每个重复 10 只鸡。3 个组的试验鸡分别转入 3 个环境控制舱，适应期 7 d，温度和 RH 分别设为 20 ℃和 60%。29 日龄时，进入试验期，分别将环境控制舱 RH 设置为 35%、60%和 85%保持不变，直至试验结束，舱内温度每天 09：00 升高 2 ℃，每日升温在 1 h 内完成，试验期 9 d。

## 1.2 饲养管理

试验于人工气候试验舱内进行，温度湿度可自动控制，24 h 光照。试验使用本实验室研发的单层平养笼具[11]，试验鸡采用平养，饲养密度为每 0.8 $m^2$ 10 只鸡。所用饲粮参照 NRC（1994）配制，其组成及营养水平见表 1。试验期间，肉仔鸡自由采食饮水。为了将应激降到最低，采集指标全过程不接触试验动物，禁止无关人员进入环控舱。

表 1 基础饲粮组成及营养水平（饲喂基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of the basal diet (as-fed basis) %

| 项目 Items | 含量 Content |
| --- | --- |
| 原料 Ingredients | |
| 玉米 Corn | 56.51 |
| 豆粕 Soybean meal | 35.52 |
| 豆油 Soybean oil | 4.50 |
| 食盐 NaCl | 0.30 |
| 石粉 Limestone | 1.00 |
| 磷酸氢钙 $CaHPO_4$ | 1.78 |
| *DL*–蛋氨酸 *DL*-Met | 0.11 |
| 预混料 Premix[1)] | 0.28 |
| 合计 Total | 100.00 |
| 营养水平 Nutrient levels[2)] | |
| 代谢能 ME/(MJ/kg) | 12.73 |
| 粗蛋白质 CP | 20.07 |
| 钙 Ca | 0.90 |
| 有效磷 AP | 0.40 |
| 赖氨酸 Lys | 1.00 |
| 蛋氨酸 Met | 0.42 |
| 蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys | 0.78 |

[1)]预混料为每千克饲粮提供 Premix provided the following per kg of the diet：VA 10 000 IU,$VD_3$ 3 400 IU,VE 16 IU,$VK_3$ 2.0 mg,$VB_1$ 2.0 mg,$VB_2$ 6.4 mg,$VB_6$ 2.0 mg,$VB_{12}$ 0.012 mg,泛酸钙 calcium pantothenate 10 mg,烟酸 nicotinic acid 26 mg,叶酸 folic acid 1 mg,生物素 biotin 0.1 mg,胆碱 choline 500 mg,Zn ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$) 40 mg,Fe ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) 80 mg,Cu ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) 8 mg,Mn ($MnSO_4 \cdot H_2O$) 80 mg,I (KI) 0.35 mg,Se ($Na_2SeO_3$) 0.15 mg。

[2)] 计算值 Calculated values。

### 1.3 测定指标和方法

#### 1.3.1 FI、饮水量（drinking water，DW）的测定

29 日龄试验开始后，每天 08:00 和 20:00 喂水喂料，记录每天饲喂的总料重和剩料重，记录每次加水量，计算每天每个重复平均每只鸡的 FI 以及 DW，用于回归模型。

#### 1.3.2 CT、ST 和 RR 的测定

试验开始后，每天 14:30，使用红外热成像仪对肉仔鸡头部侧面、小腿，距离 5 cm 处垂直拍摄，每个重复每个部位拍摄 10 张，随机挑选肉仔鸡拍摄，通过软件可得到肉仔鸡 ET 和 LT。15:30 开始测量 RR，记录肉仔鸡 30 s 内的呼吸次数，每个重复随机选取 6 只记录 RR，试验后期由于肉仔鸡呼吸加快明显，肉眼数不过来，需要用相机记录下来，再进行计数。试验使用微型温度记录仪（DS1922L，美国，精确度±0.5 ℃）记录肉仔鸡 CT，温度记录仪使用前利用北京市海淀区计量检测所校正过的标准水银温度计进行校正，校正方法参考 Purswell 等[12]。事先设定好温度记录仪开始记录数据的时间，每 30 min 记录 1 个数值，每个重复随机选取 2 只肉仔鸡将羽毛区域涂成蓝色，28 日龄选择蓝色标记的肉仔鸡，将微型温度记录仪通过饲喂的方式，使之进入到肉鸡胃里，至肉仔鸡死亡或试验结束取出。

#### 1.3.3 死亡率（mortality rate,MR）的测定

每天记录肉仔鸡死亡数及死亡时间。

### 1.4 数据和统计

本试验数据使用 SPSS 17.0 统计软件处理数据，利用 SPSS 非线性回归分析（nonliner regression）[13]，非线性回归模型为：

$Y$=C×RH+K×RH×($T$－$IPt$×RH)（$T$≥$IPt$×RH）；

$Y$=C（$T$<$IPt$×RH）。

其中 $Y$ 是指随环境温度变化的因变量，本文中 $Y$ 代表测量的非接触性指标：CT、ET、LT、RR、FI、DW 和 MR；C 是指不同 RH 下因变量未发生变化时的常数；K 是指不同 RH 下因变量发生变化时的斜率；$T$ 是指环境温度；$IPt$ 是拐点温度，指不同 RH 下因变量开始发生改变时的温度。趋势线及非线性回归结果不统一，采用回归系数大的模型。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同 RH 对连续日增温下肉仔鸡 CT、ST 和 RR 的影响

CT、ET 和 LT 随温度变化曲线模型满足折线模型，模型参数如表 2 所示，环境温度未达到 IPt 值时指标数值趋于常数，环境温度超过 IPt 后，指标随温度升高而升高。

由于肉仔鸡濒临死亡的 2 h 内 CT 失去控制，为了排除死亡时非正常 CT 数值对模型的影响，减小误差，所以本试验结果将肉仔鸡濒临死亡 2 h 内 CT 数值数据去掉之后再回归模型。

表 2 CT、ET 和 LT 模型参数

Table 2 Model parameters of CT, ET and LT

| 项目 Items | 相对湿度 RH/% | 常数 C/℃ | 拐点温度 IPt/℃ | 斜率 K |
|---|---|---|---|---|
| 体核温度 CT | 35 | 41.17±0.08 | 25.55±1.34 | 0.25±0.04[a] |
| | 60 | 40.99±0.28 | 26.38±1.89 | 0.29±0.07[ab] |
| | 85 | 41.03±0.40 | 25.46±1.37 | 0.32±0.06[b] |
| | *P* 值 *P*-value | 0.92 | 0.17 | 0.04 |
| 耳叶温度 ET | 35 | 41.31±0.16 | 25.12±0.53 | 0.36±0.03 |
| | 60 | 40.60±0.31 | 24.95±1.08 | 0.45±0.03 |
| | 85 | 40.79±0.37 | 24.92±0.99 | 0.46±0.05 |
| | *P* 值 *P*-value | 0.85 | 0.35 | 0.08 |
| 小腿温度 LT | 35 | 41.25±0.19 | 25.03±2.38 | 0.54±0.26 |
| | 60 | 41.24±0.19 | 25.07±0.81 | 0.44±0.04 |
| | 85 | 41.39±0.31 | 24.63±1.52 | 0.51±0.05 |
| | *P* 值 *P*-value | 0.76 | 0.72 | 0.95 |

同列数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著（$P$＞0.05），不同字母表示差异显著（$P$＜0.05）。下表同。

In the same column, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference ($P$>0.05), while with different letter superscripts mean significant difference ($P$<0.05). The same as below.

CT、ET 和 LT 非线性回归曲线图，分别如图 1、图 2 和图 3 所示。

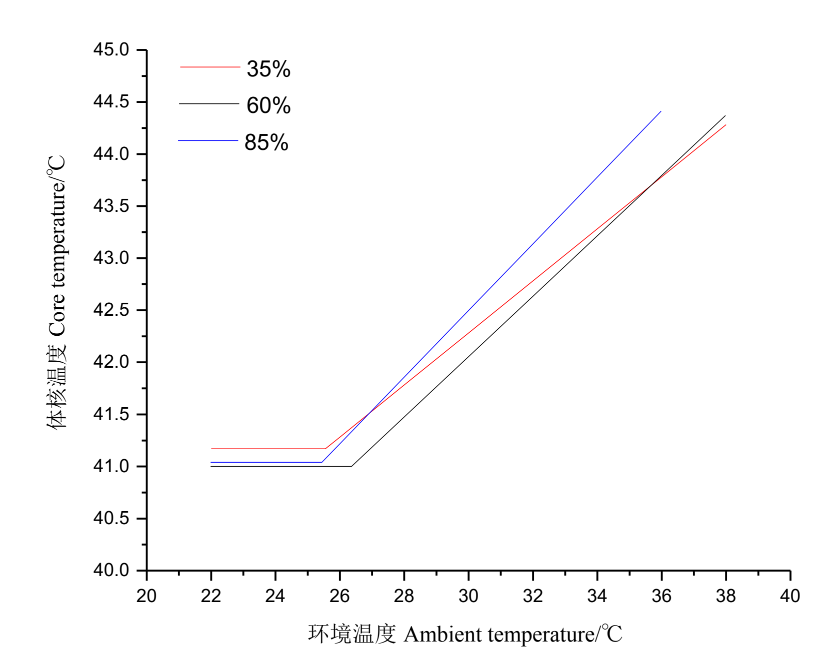



图 1　不同 RH 下肉仔鸡 CT 随温度变化回归曲线图

Fig.1　Regression curve of broiler CT change with temperature at different RH

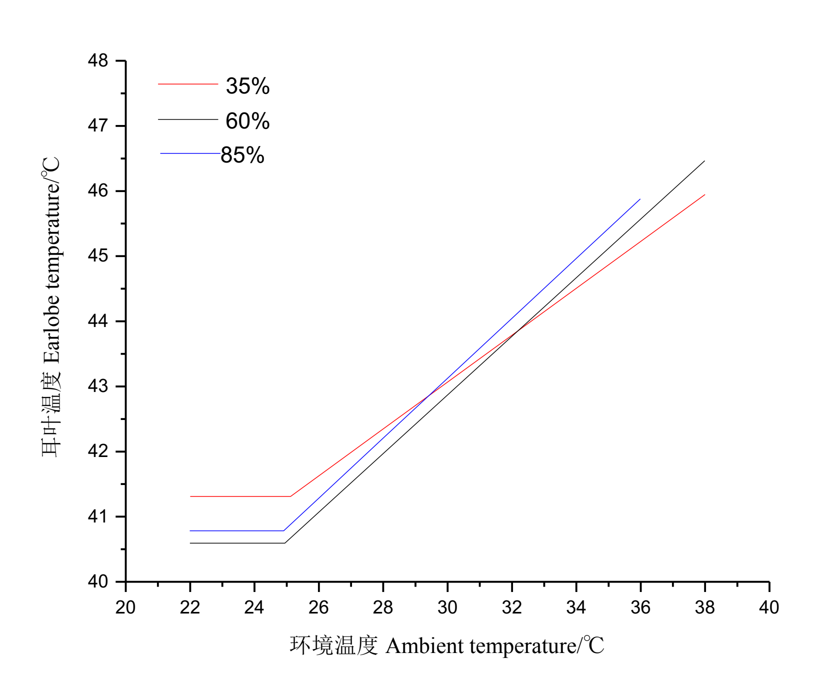



图 2　不同 RH 下肉仔鸡 ET 随温度变化回归曲线图

Fig.2　Regression curve of broiler ET change with temperature at different RH

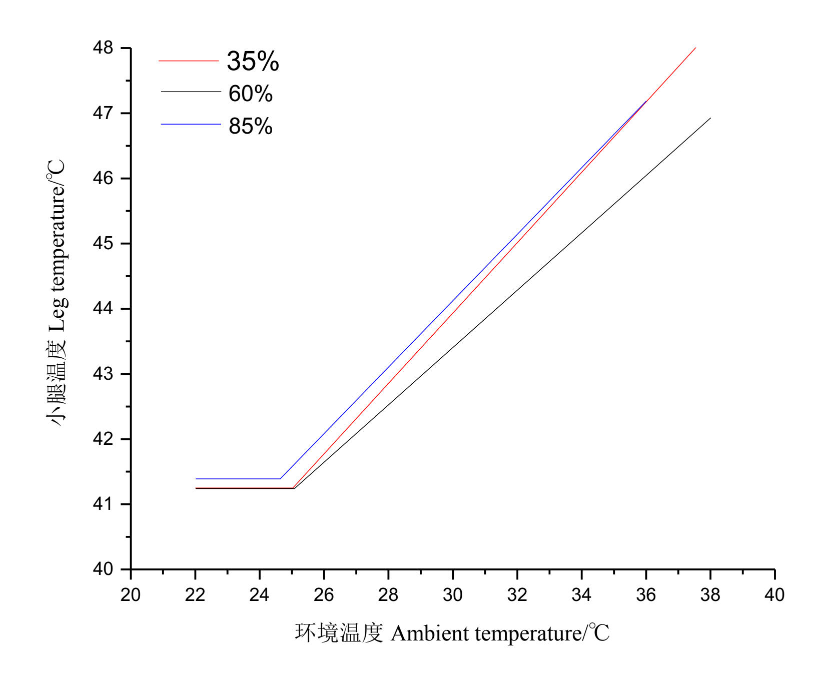



图 3 不同 RH 下肉仔鸡 LT 随温度变化回归曲线图

Fig.3 Regression curve of broiler LT change with temperature at different RH

RR 模型参数如表 3 所示，可见 RR 存在 2 个 IPt，环境温度到达 RR 的 $IPt_1$ 值时 RR 达到最大值，环境温度达到 $IPt_2$ 值达到后 RR 开始下降，RH 对 RR 模型参数无显著影响（$P>0.05$）。

表 3 RR 模型参数

Table 3 Model parameters of RR

| 项目 Item | 相对湿度 RH/℃ | 常数 C/次 | 斜率 K/（次×℃） | 拐点温度 1 $IPt_1$/℃ | 拐点温度 2 $IPt_2$/℃ |
|---|---|---|---|---|---|
| 呼吸频率 RR | 35 | 20.98±1.19 | 12.39±5.04 | 27.15±1.45 | 32.58±0.93 |
| | 60 | 19.45±1.78 | 8.72±2.99 | 26.74±0.65 | 33.25±1.80 |
| | 85 | 21.81±0.54 | 9.12±1.86 | 25.49±0.48 | 32.50±0.81 |
| | *P* 值 *P*-value | 0.60 | 0.94 | 0.13 | 0.76 |

RR 非线性回归曲线图如图 4 所示。

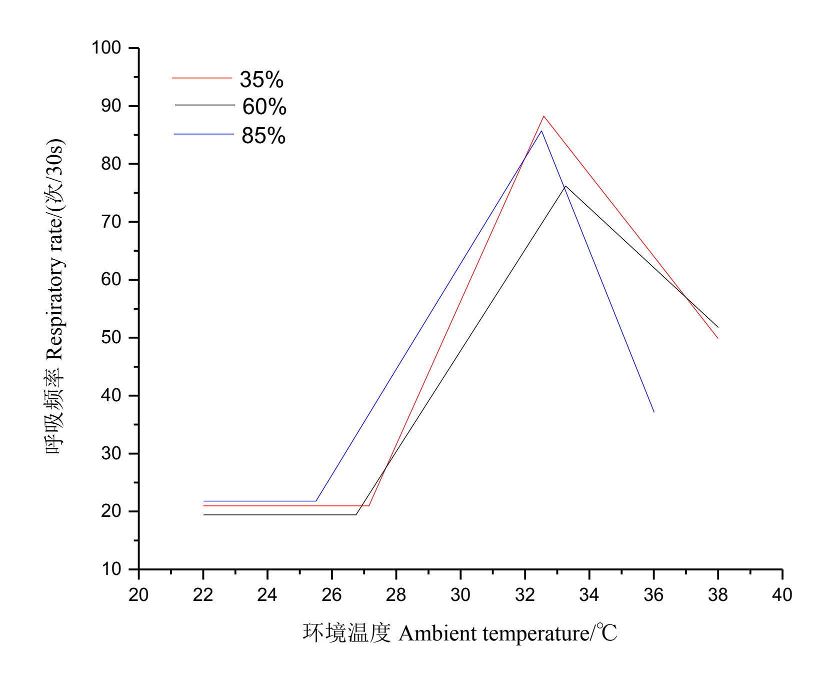



图 4　不同 RH 下肉仔鸡 RR 随温度变化回归曲线图

Fig.4　Regression curve of broiler RR change with temperature at different RH

2.2　不同 RH 对连续日增温下肉仔鸡 FI 和 DW 的影响

FI 和 DW 模型参数如表 4 所示，环境温度未达到 FI 的 IPt 值时，FI 保持稳定，环境温度到达其 IPt 值后 FI 开始下降。DW 随温度升高而升高，升高到其 IPt 值后下降，高湿组 FI 的 IPt 值显著低于低湿组和中湿组（$P$<0.05）。

表 4　FI 和 DW 模型参数

Table 4　Model parameters of FI and DW

| 项目 Items | 相对湿度 RH/% | 常数 C/g | 拐点温度 IPt/℃ | 斜率 1 $K_1$/（g×℃） | 斜率 2 $K_2$/（g×℃） |
|---|---|---|---|---|---|
| 采食量 FI | 35 | 166.92±3.68 | 29.08±3.68[b] | | －15.49±1.18 |
| | 60 | 174.04±5.61 | 29.18±5.61[b] | | －14.86±1.20 |
| | 85 | 173.07±6.76 | 27.07±6.76[a] | | －13.55±5.43 |
| | *P* 值 *P*-value | 0.24 | 0.02 | | 0.71 |
| 饮水量 DW | 35 | | 29.30±0.59 | 15.88±4.17 | －43.64±4.46 |
| | 60 | | 29.50±0.73 | 15.36±3.20 | －42.35±6.38 |
| | 85 | | 29.20±0.41 | 15.69±3.85 | －55.54±10.77 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| *P* 值 *P*-value | 0.86 | 0.92 | 0.07 |

FI 和 DW 回归曲线图如图 5 和图 6 所示。FI 在拐点值前，中湿组、高湿组、低湿组 FI 依次降低；在拐点值后，中湿组、低湿组、高湿组 FI 依次降低。DW 在拐点值前，低湿组、中湿组、高湿组 FI 依次升高。

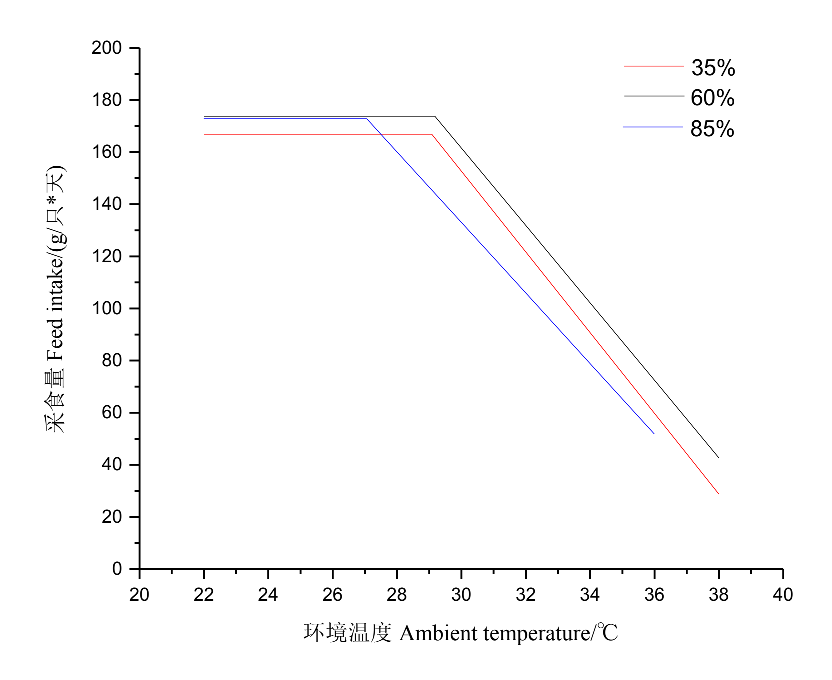



图 5　不同 RH 下肉仔鸡 FI 随温度变化回归曲线图

Fig.5　Regression curve of broiler FI change with temperature at different RH

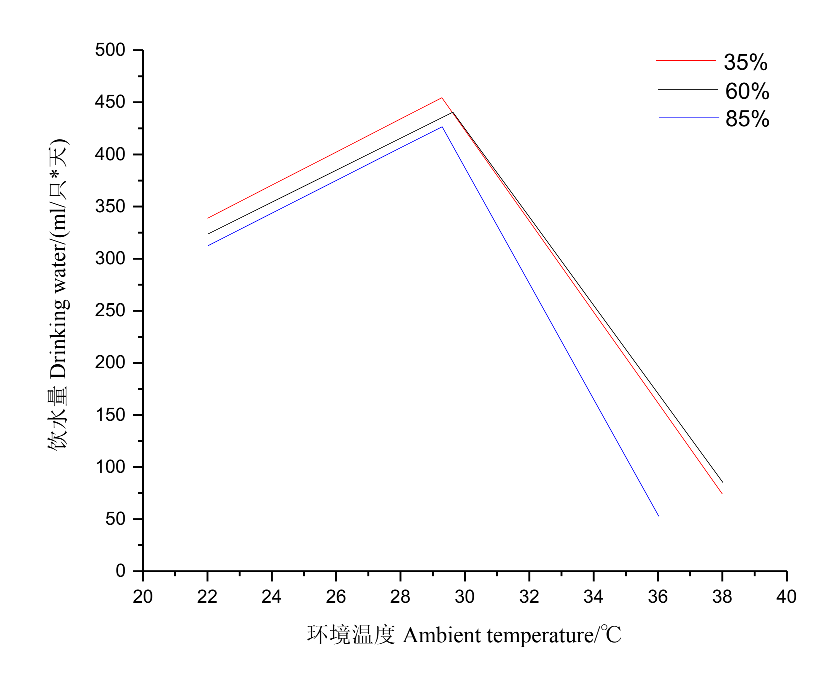



图 6　不同 RH 下肉仔鸡 DW 随温度变化回归曲线图

Fig.6　Regression curve of broiler DW change with temperature at different RH

2.3　不同 RH 对连续日增温下肉仔鸡 MR 的影响

MR 模型参数如表 5 所示，由表可见，有 2 个 IPt，环境温度升至 MR 的 $IPt_1$ 值时出现死亡现象，之后 MR 数值呈斜线上升，达到 MR 的 $IPt_2$ 值时 MR 达到了 100%，高湿组肉仔鸡最先出现死亡现象，且死亡速率最快，高湿组 MR 的 $IPt_2$ 值显著小于中湿组和低湿组（$P<0.05$）。

表 5　死亡率模型参数

Table 5　Model parameter values of MR

| 项目 Item | 相对湿度 RH/% | 斜率 K/（%/℃） | 拐点温度 1 $IPt_1$/℃ | 拐点温度 2 $IPt_2$/℃ |
|---|---|---|---|---|
| 死亡率 MR | 35 | 18±0.03 | 33.48±0.44 | $38.92±1.20^a$ |
| | 60 | 21±0.04 | 33.54±0.78 | $38.51±0.27^a$ |
| | 85 | 26±0.06 | 32.72±0.88 | $36.84±0.23^b$ |
| | *P* 值 *P*-value | 0.17 | 0.35 | ＜0.01 |

由数据可知 MR 曲线图如图 7 所示。

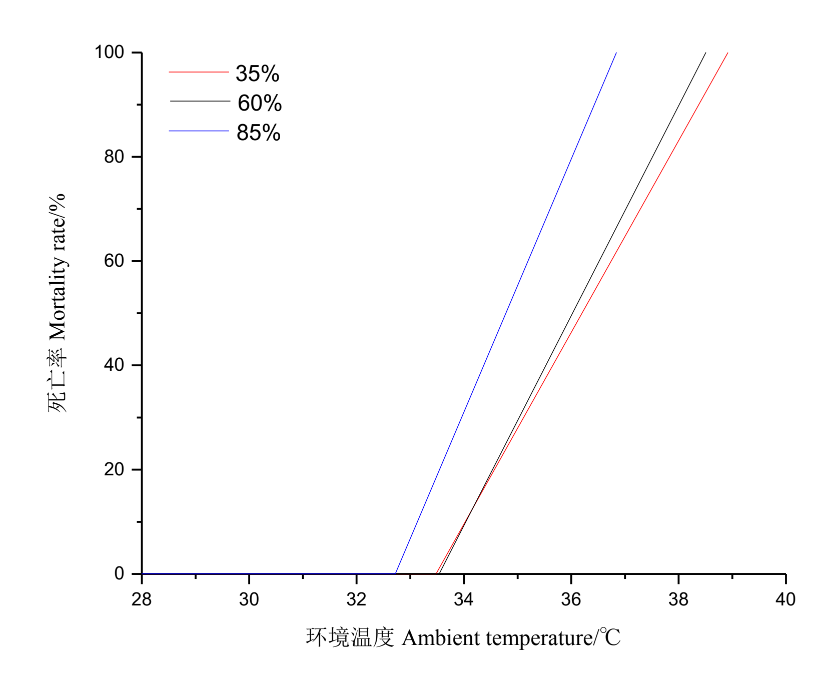



图 7　不同 RH 下肉仔鸡 MR 随温度变化回归曲线图

Fig.7　Regression curve of broiler MR change with temperature at different RH

如表 5 所示值为肉仔鸡死亡时最高 CT 与回归模型常数值之差的平均值，分析数据得出，RH 对此值无显著影响（$P$＞0.05）。

表 5　肉仔鸡死亡时最高 CT 与常数值之差的平均值

Table 5　Average differences between the highest value and constant value of broiler CT

| 相对湿度 RH/% | 差值 Differences/℃ |
|---|---|
| 35 | 4.61±0.59 |
| 60 | 5.05±0.59 |
| 85 | 5.03±0.52 |
| *P* 值 *P*-value | 0.16 |

综合以上结果显示，高湿组 CT、ET、LT、RR、FI、DW、MR 的 IPt 值均小于中湿组和低湿组。

## 3　讨　论

成年家禽热舒适区为 18~22 ℃[14]。在此区域内的肉仔鸡产热散热变化最小，并可以保持舒适的生活状态[15]。环境温度一旦超过热舒适区，肉仔鸡开始进行体温调节，首先通过

升高 ST[16]、改变行为[17]来维持体温恒定；随着环境温度升高，家禽会通过增加 RR 来散热[18]；若环境温度进一步升高，通过升高 RR 不足以维持产热与散热之间的平衡，则无法维持体温在正常范围内。此时环境温度若再继续升高，家禽只能通过减少 FI 即降低产热、增加 DW 来阻止 CT 进一步升高[18]。

胡春红等[17]报道 26 ℃偏热应激，肉仔鸡 CT 无变化，而 30 ℃组肉仔鸡 CT 显著升高。顾宪红等[16]报道，持续 30 ℃，高湿（80%）与低湿（40%）相比，冠温、翅温、胫温、趾温极显著升高，直肠温度、胸温显著升高。Richard[19]报道，30 ℃与 20 ℃相比，肉仔鸡母鸡直肠温度和皮肤温度变化不显著；40 ℃与 30 ℃相比，肉仔鸡直肠温度升高了 1.5 ℃，后背、腿和翅膀温度则是逐步上升。陈燕等[20]报道，与 23 ℃恒温处理相比，28~32 ℃日变循环高温组肉仔鸡直肠温度升高了 1.65 ℃，RR 提高了 3.7 倍。本试验结果显示，环境温度升高，首先达到了 LT 的 IPt 值（24.6~25.7 ℃），肉仔鸡 LT 开始升高。ET 和 CT 上限临界温度值分别在 24.9~25.1 ℃和 25.5~26.4 ℃，RH 对肉仔鸡 ET、LT 和 CT 的 C 值、K 值和 IPt 值无显著影响。环境温度低于 IPt 值时，中湿组 ET、LT 和 CT 的 C 值小于低湿组和高湿组，差异不显著。环境温度高于 27.14 ℃后高湿组肉仔鸡 CT 最高，而高湿组 LT 高于低湿组和中湿组。相比以往的试验研究，本试验 CT 拐点有提前趋势，是因为现代肉仔鸡追求在短时间内长成大块胸肌腿肌，而肉仔鸡体温调节机制并没有得到相应改善，对热更为敏感[1-2]。

高温时动物主要通过蒸发途径来散热，由于没有汗腺，禽类主要通过加快呼吸来增加蒸发散热量，以维持 CT 恒定。如果动物体内的热调节失败，则体内虚热，CT 升高[21]。本试验结果显示环境温度达到 25 ℃左右就达到了肉仔鸡 CT、LT 和 ET 的上限临界温度，而从回归曲线得到的结果此时肉仔鸡 RR 并未发生变化，原因很可能如前所述，是因为现代肉仔鸡因过度追求肌肉生长导致对热更为敏感所致[1-2]，同时 RR 在环境温度超过热舒适区之后，就有了升高趋势，但 RR 升高幅度小，并未达到显著差异，而 CT 升高幅度大，比 RR 提前达到显著差异，经过非线性回归 CT 的 IPt 小于 RR 的 IPt。

FI 上限临界温度为 27.1~29.2 ℃，Prince 等[22]报道环境温度为 23.8 ℃、RH 为 50%~90%对 4~8 周龄肉仔鸡 FI 无显著影响。Donkoh[23]报道肉仔鸡在 35 ℃恒温中，FI 比 20 ℃恒温下降了 13%。周莹等[24]报道，31 ℃饲养肉仔鸡与 26 ℃下饲养相比，FI 降低了 8 g。本试验结果，温度超过 FI 的 IPt 值，每升高 1 ℃，FI 降低 15.5、14.9 和 13.6 g（分别在 35%、60%和 85% RH 下），结果差异在于肉仔鸡处于持续恒温热环境中，调节时间长，而日增温肉仔鸡不断接受新的应激，身体需要不断调整以应对更高温度的热应激。高湿组 FI 的 IPt 值显著高于中湿组和低湿组，高温下肉仔鸡不仅需要增加 RR 来增加散热，亦需要降低产热，

食物是肉仔鸡体内主要能量来源，不过一方面降低 FI，可以减少身体热量；另一方面，也降低了维持身体机能所需的能量与营养。

Deeb 等[25]研究发现，持续 32 ℃处理与 22 ℃处理，肉仔鸡 DW 显著升高。苏红光等[26]报道与 21 ℃相比，持续 30 ℃第 1~7 天肉仔鸡日 DW 显著升高，而第 7~14 天日 DW 反而下降。本试验结果，DW 上限临界温度为 29.2~29.5 ℃，温度低于 IPt 值时，DW 随温度升高而增加，肉仔鸡为了维持 CT 稳定，经呼吸道散热，造成水分消耗持续增加，这与大多数研究结果一致，而环境温度高于 IPt 值后 DW 下降，这或许是因为肉仔鸡 FI 下降，导致日增重下降，肉仔鸡营养不良。热环境下，肉仔鸡会通过减少行为活动和基础代谢率来减少机体产生的总热量[27]，对于离水嘴远的肉仔鸡，需要消耗能量去完成饮水这一行为活动，高温下肉仔鸡更多次的选择不产生运动放弃饮水，同时此试验水桶位于环控舱内，环境温度升高，水温也会相应有所升高，导致 DW 下降。湿度对 DW 模型参数无影响，环境温度未达到 DW 的 IPt 值时，湿度越低，DW 越高，差异不显著。

Abu-Dieyeh[28]报道，热应激肉仔鸡 RR 显著高于 20 ℃组。30 ℃热处理 3 h 内肉仔鸡 RR 显著升高至 100 次。Raup 等[29]报道肉仔鸡暴露于 35 ℃下 RR 由 9.5 次骤升至 94 次，4 h 后温度由 35.0 ℃升高到 36.8 ℃，RR 出现下降现象。本试验结果，环境温度在 27.2~32.5 ℃，肉仔鸡 RR 升高速率为 12.4、8.7 和 9.1 次（分别在 35%、60%和 85% RH 下），可见低湿促进了肉仔鸡的呼吸蒸发。RR 最大值在 76~88 次。环境温度达到 32.5~33.3 ℃之后，RR 开始下降，下降的原因或许是肉仔鸡营养不良，身体机能下降，以及呼吸本身也是需要消耗能量等原因导致 RR 下降，肉仔鸡死亡。

本试验中，环境温度为 32.7~33.5 ℃时达到了肉仔鸡死亡的上限临界温度，而日增温的温度变化模式下，36.8~39.0 ℃就达到了肉仔鸡能承受的极限温度值。高湿组 MR 的 $IPt_2$ 值显著低于中湿组和低湿组，湿度越高，肉仔鸡死亡速率越快。Al-Fataftah 等[30]研究表明耐热力试验中，肉仔鸡死亡时 CT 较对照组升高了 4.59 ℃。本试验中，当肉仔鸡 CT 超过常数值 4~6 ℃左右时，即达到了肉仔鸡濒临死亡的危险时刻。陶秀萍[31]报道动物在气温高于体温 5 ℃中便不能长时间存活，本文最高气温 38 ℃，并未超过肉仔鸡体温，原因如前所述，是因为现代肉仔鸡因过度追求肌肉生长导致对热更为敏感所致[1-2]，实际生产中需格外注意。

## 4 结　论

① 高湿组 FI 的 IPt 值显著高于低湿组和中湿组。

② 高湿组 MR 的 $IPt_2$ 值显著低于低湿组和中湿组。

③ 湿度对 LI、ET、CT、RR、DW 模型参数均无显著影响。

④ 试验所测得各指标高湿组 IPt 值均小于低湿组和中湿组。

参考文献：

[1] YALCÇIN S,ÖZKAN S,TÜRKMU L,et al.Responses to heat stress in commercial and local broiler stocks. Ⅰ.Performance traits[J].British Poultry Science,2001,42(2):149–152.

[2] SOLEIMANI A F I,ZULKIFLI A R,OMARA R,et al.Physiological responses of 3 chicken breeds to acute heat stress[J].Poultry Science,2011,90(7):1433–1440.

[3] LU Q,WEN J,ZHANG H.Effect of chronic heat exposure on fat deposition and meat quality in two genetic types of chicken[J].Poultry Science,2007,86(6):1059–1064.

[4] NIU Z Y,LIU F Z,YAN Q L,et al.Effects of different levels of vitamin E on growth performance and immune responses of broilers under heat stress[J].Poultry Science,2009,88(10):2101–2107.

[5] DEEB N,CAHANER A.Genotype-by-environment interaction with broiler genotypes differing in growth rate.1.The effects of high ambient temperature and naked-neck genotype on lines differing in genetic background[J].Poultry Science,2001,80(6):695–702.

[6] 林海.肉鸡实感温度的系统模型分析及热应激下的营养生理反应[D].博士学位论文.北京:中国农业科学研究院,中国农业科学院,1996.

[7] YAHAV S,SHINDER D,RAZPAKOVSKI V,et al.Lack of response of laying hens to relative humidity at high ambient temperature[J].British Poultry Science,2000,41(5):660–663.

[8] LIN H,ZHANG H F,DU R,et al.Thermoregulation responses of broiler chickens to humidity at different ambient temperatures. Ⅱ.Four weeks of age[J].Poultry Science,2005,84(8):1173–1178.

[9] 常玉,冯京海,张敏红.环境温度、湿度等因素对家禽体温调节的影响及评估模型[J].动物营养学报 2015,27(5):1341–1347.

[10] 周莹,张敏红,冯京海,等.相对湿度对递增性偏热环境下肉鸡体热调节及下丘脑热休克蛋白 70 含量的影响[J].动物营养学报,2017,29(1):60–68.

[11] 张敏红,苏红光,冯京海,等.采集用于建立肉鸡生活环境舒适性评价模型数据的方法和专用装置:中国,CN103404447A[P].2013-11-27.

[12] PURSWELL J L,DOZIER W A,OLANREWAJU H A,et al.Effect of temperature-humidity index on live performance in broiler chickens grown from 49 to 63 days of age[C]//Ninth International Livestock Environment Symposium.[S.l.]:ILES,2012:8–12.

[13] AARNINK A J A,SCHRAMA J W,VERHEIJEN E J E,et al.Pen fouling in pig houses

affected by temperature[R].Michigan:[s.n.],2001.

[14] KHAN R U,NAZ S,NIKOUSEFAT Z,et al.Effect of ascorbic acid in heat-stressed poultry[J].World’s Poultry Science Journal,2012,68(3):477–490.

[15] ENSMINGER M,OLDFIELD J,HEINEMANN W.Feeds and nutrition[J].Journal of Zhejiang Ocean University,1990(1):1–7.

[16] 顾宪红,杜荣,林海.湿度和风速对高温条件下肉仔鸡体热平衡及其血浆相关激素水平的影响[J].动物营养学报,1997,9(4):44–49.

[17] 胡春红,张敏红,冯京海,等.偏热刺激对肉鸡休息行为、生理及生产性能的影响[J].动物营养学报,2015,27(7):2070–2076.

[18] MAY J D,LOTT B D.Feed and water consumption patterns of broilers at high environmental temperatures[J].Poultry Science,1992,71(2):331–336.

[19] RICHARD S A.The significance of changes in the temperature of the skin and body core of the chicken in the regulation of heat loss[J].The Journal of Physiology,1971,216(1):1–10.

[20] 陈燕,冯京海,张敏红,等.环境高温与饲粮粗蛋白质水平对肉鸡生产性能、氮代谢和氮排放的影响[J].动物营养学报,2013,25(10):2254–2265.

[21] 黄昌澍.家畜气候学[M].南京:江苏科学技术出版社,1989.

[22] PRINCE R P,WHITAKER J H,MATTERSON L D,et al.Response of chickens to temperature and relative humidity environments[J].Poultry Science,1965,44(1):73–77.

[23] DONKOH A.Ambient temperature:a factor affecting performance and physiological response of broiler chickens[J].International Journal of biometeorology,1989,33(4):259–265.

[24] 周莹,彭骞骞,张敏红,等.相对湿度对间歇性偏热环境下肉鸡体温、酸碱平衡及生产性能的影响[J].动物营养学报,2015,27(12):3726–3735.

[25] DEEB N,CAHANER A.Genotype-by-environment interaction with broiler genotypes differing in growth rate.3.Growth rate and water consumption of broiler progeny from weight-selected versus nonselected parents under normal and high ambient temperature[J].Poultry Science,2002,81(3):293–301.

[26] 苏红光,张敏红,冯京海,等.持续冷热环境对肉鸡生产性能、糖代谢和解偶联蛋白 mRNA 表达的影响[J].动物营养学报,2015,26(11):3226–3283.

[27] GERAERT P A,PADILHA J C F,GUILLAUMIN S.Metabolic and endocrine changes induced by chronic heat exposure in broiler chickens:growth performance,body composition and

energy retention [J].British Journal of Nutrition,1996,75(2):195–204.

[28] ABU-DIEYEH Z H M.Effect of high temperature per se on growth performance of broilers[J].International Journal of Poultry Science,2006,5(1):19–21.

[29] RAUP T J,BOTTJE W G.Effect of carbonated water on arterial pH,*P* $CO_2$ and plasma lactate in heat-stressed broilers[J].British Poultry Science,1990,31(2):377–384.

[30] AL-FATAFTAH A R A,ABU-DIEYEH Z H M.Effect of chronic heat stress on broiler performance in Jordan[J].International Journal of Poultry Science,2007,6(1):64–70.

[31] 陶秀萍.不同温湿风条件对肉鸡应激敏感生理生化指标影响的研究[D].博士学位论文.北京:中国农业科学院,2003.

Effects of Different Relative Humidity on Physiological Indices of Broilers under Continuous Increasing Temperature[i]

LI Meng[1,2] LI Xiumei[2] ZHOU Ying[2] FENG Jinghai[2] ZHAO Qian[1*] ZHANG Minhong[2*]

(1. *College of Animal Science and Technology, Northeast Agricultural University, Harbin* 150030, *China*; 2. *State Key Laboratory of Animal Nutrition, Institute of Animal Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing* 100193, *China*)

Abstract: In this study, the effects of different relative humidity (RH) on the physiological indices of broilers under increasing temperature environment were studied. One hundred and eighty 22-day-old Arbor Acres (AA) male broilers were allotted into environment controlled chambers and randomly divided into 3 groups with 6 replicates per group and 10 chickens per replicate. Adaptation period lasted for 7 days, and the temperature was 20 ℃ while the RH was 60%. When the broilers were 29-day-old, RH was adjusted to 35%, 60% and 85% of three groups, respectively, until the end of this trial. The temperature in the environment controlled chambers was rises by 2 ℃ per day, and the trial period was 9 days. When the broilers were 37-day-old, the temperature in the environment controlled chambers was 38 ℃. During the experiment period, the broilers fed and drank water *ad libitum*, and non-contact physiological indicators were measured, while there was no stress to chickens. The results showed that there was inflection point temperature (IPt) in core temperature (CT), earlobe temperature (ET), leg temperature (LT), respiratory rate (RR), feed intake (FI) and drinking water (DW). The first indicator of reaction was LT, and the temperature was in the range from 24.6 to 25.1 ℃, followed by ET and CT, while the temperature was in the range from 25.0 ℃ to 25.1 ℃ and 25.5 to 26.4 ℃ each. RR had two

IPts ($IPt_1$ and $IPt_2$) which were in the range from 25.5 to 27.2 ℃ and 32.5 to 33.3 ℃. RR was increased with the increasing temperature above $IPt_1$, while decreased with increasing temperature above $IPt_2$. FI and DW were changed in the range from 27.1 to 29.3 ℃ and from 29.2 to 29.5 ℃ respectively, FI and DW were decreased with increasing temperature above IPt. The IPt of FI in high humidity group was significantly higher than those in middle and low humidity group （$P<0.05$）. The $IPt_2$ of mortality rate (MR) in high humidity group was significantly lower than those in middle and low humidity group（$P<0.05$）. The IPts of CT, ET, LT, RR, FI and DW under high humidity were lower than those in middle and low humidity group. RH had no significant effect on ET, LT, RR and DW model parameters ($P>0.05$). In conclusion, ambient temperature strongly affects the physiological indices of broilers, whereas RH has a relatively minor effects on it. The upper critical temperature can be considered to be the IPt above which FI decreased and RT then increased. The upper critical temperatures of 4 to 5 weeks old broilers are from 25.5 to 26.4 ℃for CT, from 25.5 to 27.2 ℃ for RR decreased, from 27.1 to 29.2 ℃ for FI increased, and from 32.7 to 33.5 ℃ for death. When the broiler died, the differences between the highest value of CT and the constant values are in the range from 4.6 to 5.1 ℃. The 4 to 5 weeks old male broilers have different upper critical temperatures for different physiological indices.

Key words: broiler; humidity; increasing temperatures; inflection point temperature

---

*Corresponding authors: ZHAO Qian, associate professor, E-mail: 189876@qq.com; ZHANG Minhong, professor, E-mail: zhm66@126.com (责任编辑　田艳明)